

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 整合型高效能主動式金氧半影像感測器之開發與設計(2/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2215-E-007-006-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立清華大學電子工程研究所

計畫主持人：金雅琴

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 18 日

整合型高效能主動式金氧半  
影像感測器之開發與設計  
第二年報告

計劃編號：91-2215-E-007-022

主持人：金雅琴

清華大學電機系

### 一、中文摘要

互補式金氧半影像感測器，近年來在低價位的許多影像感測應用上已經成為電荷耦合元件的替代品，這是由於它具有高量子效率、低功率消耗、低成本、隨機存取以及最重要的和互補式金氧半技術製程相容等優點。然而在互補式金氧半製程技術演進的同時，影像感測器的一些其他特性反而急劇的降低，特別是暗電流、雜訊的上升、靈敏度的降低以及動態範圍的縮小，也因此而縮小了它的應用範圍。然而暗電流可以藉由製程技術的改善而非常有效的降低，且使用 4-T 傳輸閘(transfer gate)的技術也可以解決靈敏度的問題。但互補式金氧半影像感測器的動態範圍仍然比電荷耦合元件小一個數量級以上。

如圖一所示，新的 3-T 像素元件其感光區是結合光二極體(photo-diode)以及光閘極(photo-gate)的新結構被已經被提出用來消除暗電流。然而這樣的架構將導致操作速度變慢以及增加周邊電路的複雜性。今年本計畫將利用現有的 0.25 $\mu\text{m}$  金氧半電晶體製程技術，對這個新架構提出一個新的操作方式，可以用來提高靈敏度以及延伸動態範圍。

### 二、英文摘要

CMOS image sensors, compared with CCD, becomes popular due to their low voltage supply, low power consumption, and compatibility with standard CMOS processes. However, the

advances in process technology will result in dramatic increase dark current and decrease sensitivity and therefore narrowed its application. Although the dark current can be reduced through modification of CMOS process and a 4-T pixel with transfer gate was proposed to improve sensitivity. The dynamic range of CMOS APS is still more than an order of magnitude smaller than that of CCD. A 3-T active pixel configuration employing a photogate (PG) combining with a photodiode (PD) as shown in Fig.1 was proposed to reduce dark signal. However, such configuration will suffer lower operation speed and complicated peripheral circuit. In this work, we revisit this cell fabricated by standard 0.25- $\mu\text{m}$  CMOS logic process. A new operation scheme with well capacity adjusting without lowering frame rate is proposed to extend dynamic range as well as improve its sensitivity.

### 三、研究成果

此計畫主要重點在於設計和製作出高性能的影像感測器，使之具有高的靈敏度及延伸它的動態範圍，並朝完成一個完整影像感測器的目標努力。而第二年的研究重點為：

- (一) 進行此低暗電流感測器結構之製程條件模擬

- (二) 利用電路方法，經由電路模擬軟體，開發出高動態範圍之影像感測器。
- (三) 進行此低暗電流極高動態範圍影像感測器之光罩設計及委製並開始元件製程。

以下依序介紹各個項目的研究成果：

### (I) 降低按電流之新佈局方法

由於暗電流已經可以藉由製程的改善降低至一個非常低的位準，因此暗電流對於互補式金氧半影像感測器來說已經不是問題。

### (II) 動態範圍以及靈敏度的改善

圖二為新結構的的照光響應輸出圖。當  $PG=3.3V$  時，由於其靈敏度比  $PG=0V$  時要小，因此其最大可偵測照度是較大的。這是由於當  $PG=3.3V$  時，其感光區的  $PG$  以及  $PD$  都可以用來儲存因照光而產生的電子(等效電容:  $C_{PG}+C_{PD}$ )；然而在  $PG=0V$  時，能儲存電子的區域只有  $PD$ (等效電容:  $C_{PD}$ )。因此當  $PG=3.3V$  時，由於等效電容較大，會導致有較小的電荷轉電壓增益(charge conversion gain)，因此會有較小的靈敏度以及較大的動態範圍。由這量測結果可以發現，藉由控制  $PG$  的電壓可以調整感光區的電子容納量(well capacity)。

圖四為我們所提來新操作機制的時序圖。在積分週期時， $PG$  將被切換到  $0V$  一段時間( $t_1$ )，其他時刻  $PG$  都維持在  $3.3V$ ，我們可以藉由圖中的  $t_1$ 、 $t_2$  及  $V_{PG\_H}$  來設計想要的動態範圍。圖五顯示出新操作機制的量測結果，其中  $V_{PG\_H}=3.3V$ 。圖中很明顯可以發現，在低的光照度時，這樣新的操作機制並不會影響到輸出特性；然而在一個足夠高的照度時，當  $PG$  由  $0V$  恢復到  $3.3V$  時

感光區會被拉高到一個固定的電位。會有這樣的現象發生，主要是由於儲存在  $PG$  下面的電子在  $PG=0V$  時將會被轉移到  $PD$  區域，隨後再被恢復到  $PG=3.3V$  的情況。假如全部儲存在感光區的電子數目超出  $PD$  的容納量時，則在  $PG=0V$  時，多餘的電子將在  $PG=0V$  經由基板(substrate)流走或溢出到隔壁的像素造成暈染效應(blooming effect)，隨後再度恢復到  $PG=3.3V$  的情況，此時的電子容納能力又變回  $C_{PG}+C_{PD}$ 。

圖六為此新操作機制的照光對輸出的轉換曲線量測圖。圖中很明顯可以發現當  $t_1$  固定時，可以藉由調整  $t_2$  而來調整動態範圍， $t_2$  越小動態範圍會越大。而當  $t_2$  固定時，調整  $t_1$  如圖七所示並不會對輸出曲線造成明顯的變化。圖八顯示出  $PG$  和  $PD$  面積比對於動態範圍以及靈敏度的關係。當  $PG$  面積越大時，由於有較大的等效電容，且動態範圍也可以因這一的操作而大幅的提昇；但在低照度時的靈敏度卻會下降。藉由調整  $PG$  的面積來達到調整動態範圍及靈敏度在實際應用上是不可行的，但卻可以經由調整  $V_{PG\_H}$  而輕易的達成。當  $V_{PG\_H}-V_{th\_M1}$  ( $M1$  的臨界電壓)小於  $PD$  的重置電位時，在  $PG$  下面的電子能障(potential barrier)將大於  $PD$  區域，因此由於照光所產生的電子將先儲存在  $PD$  區域。在此情況下，靈敏度將和  $PG=0V$  時的情況下相同，直到  $PG$  和  $PD$  的能障相同時，此後將會操作在和  $PG=3.3V$  時的條件下相同，其量測結果如圖九所示。圖十顯示出  $V_{PG\_H}$  的變化對於動態範圍以及靈敏度的關係。很明顯的，只要  $V_{PG\_H}<2.8V$ ，動態範圍和靈敏度和傳統  $3T\_PD$  的像素比較起來都要來得大。表一為傳統  $3T\_PD$  以及此新操作方式的像素特性比較結

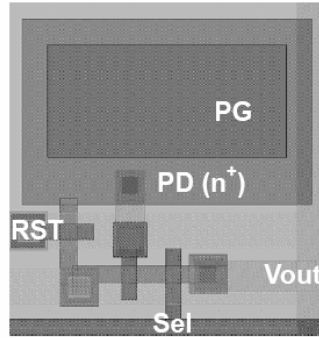
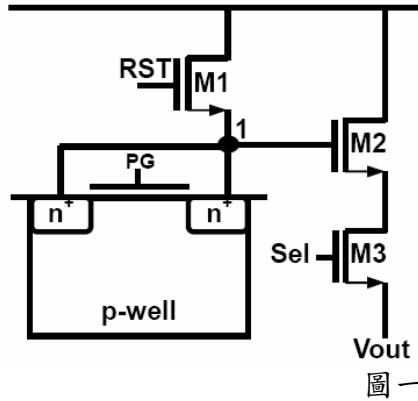
果。此新操作方式的動態範圍及靈敏度換傳統 3T\_PD 比較起來都可以有效的被放大。

#### 四、結論

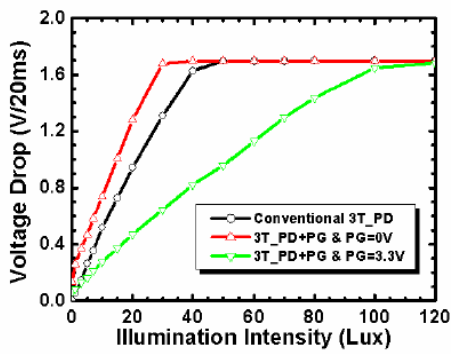
由於暗電流已經可以經由製程的改善而大幅的降低，因此計劃的第二年著重於靈敏度以及動態範圍的改善。大家的努力下，開發出開發出超具有高動態範圍以及高靈敏度的 cell，且可以藉由 PG 和 PD 的面積比或

#### 五、參考文獻

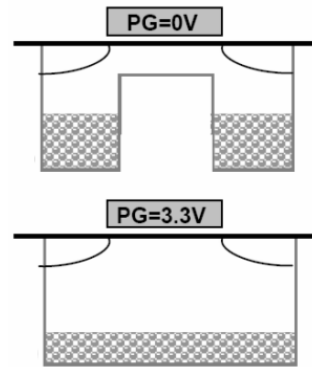
- [1] E. Fossum, Proc. SPIE, vol.1900, p.2-14, 1993
- [2] H. Wong, IEEE T-ED, Vol. 43, p.2134-2141, 1996.
- [3] H.C. Chien et al., IEDM Tech. Dig., pp.813-816, 2002
- [4] M. Kyomasu, IEEE JSSC, vol. 26, p1116-1122, 1991
- [5] Hsiu-Yu Cheng et al., IEEE T-ED, vol.50, p.91-95,



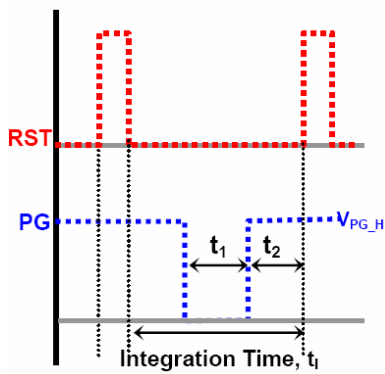
圖一



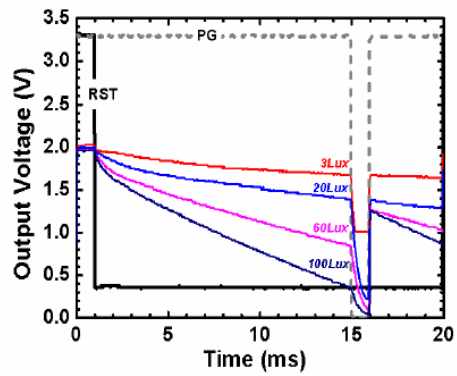
圖二



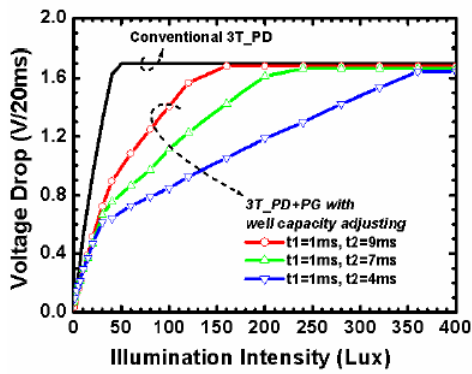
圖三



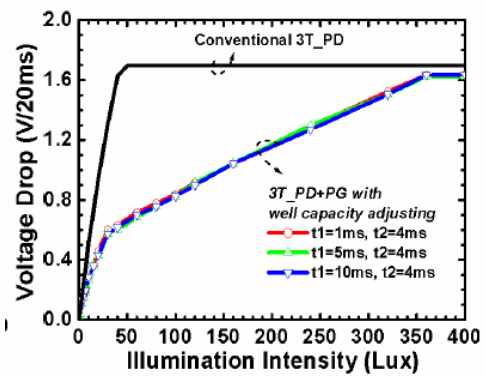
圖四



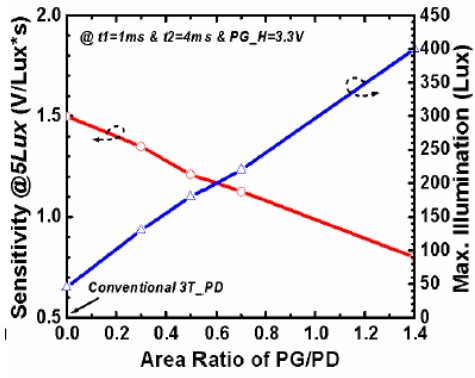
圖五



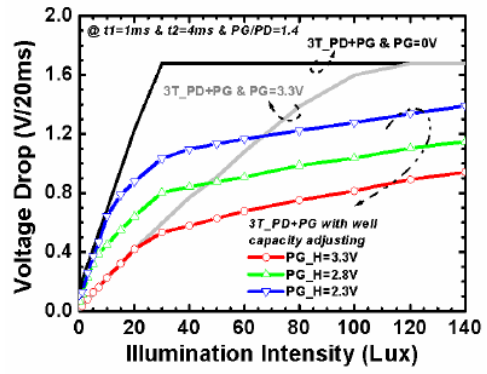
圖六



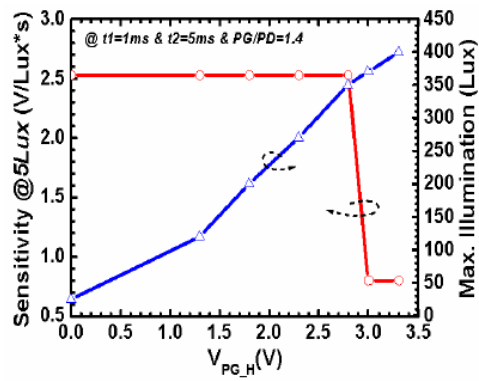
圖七



圖八



圖九



圖十

Pixel Type	Original	Novel
Pixel Size	7.5 $\mu$ m x7.5 $\mu$ m	
Operation Voltage	3.3V	
Fill Factor	49%	49%
Dynamic Range	46dB	> 72dB
Sensitivity(V/Lux*s)	1.5	2.5
Dark Signal(mV/s)	421	330

表一